

Johannes Simstich¹, Thomas Müller-Lupp¹ und Helmut Erlenkeuser²

1) GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften der Universität Kiel

2) Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der Universität Kiel

Schalen arktischer Bivalven als Datenspeicher jahreszeitlicher Schwankungen von Temperatur und Salzgehalt im Bodensee? Erste Ansätze aus Kara- und Laptev-See

Einleitung

Eine wesentliche Stütze unseres heutigen Klimasystems ist die atlantische thermohaline Zirkulation, auf die arktische Wassermassen entscheidenden Einfluß haben. Durch ihren niedrigen Salzgehalt, der vor allem durch die sibirischen Flüsse verursacht wird, können sie die Zirkulation bremsen oder sogar unterdrücken und Nordeuropa somit von der Wärmezufuhr über den Nordatlantikstrom abschneiden. Wichtige Quellgebiete arktischen Oberflächen- und Zwischenwassers sind die riesigen Schelfbereiche von Kara- und Laptev-See. Die Veränderlichkeit der dort stattfindenden hydrographischen Prozesse ist eine der zentralen Fragen in den Projekten „SIRRO: Siberian River Runoff“ und „System Laptev-See 2000“.

Im einzelnen bilden sich arktische Schelfwassermassen infolge extremer jahreszeitlicher Kontraste, wie Flußwassereintrag und Eisschmelze im Sommer, tiefreichende Turbulenzen im Herbst und extreme Abkühlung mit Eis- und Solebildung im Winter. Es ist daher zum Verständnis des arktischen Beitrags zum Klimageschehen entscheidend wichtig, diese Saisonalität und deren Veränderlichkeit in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Ein möglicher Träger solcher Informationen sind Muschelschalen, da diese über einen längeren Zeitraum hinweg wachsen und dabei kontinuierlich Veränderungen der ozeanographischen Schlüsselparameter Salzgehalt und Temperatur des Umgebungswassers in der Isotopenzusammensetzung des Schalenkarbonats aufzeichnen (Ingram et al. 1996; Hickson et al. 1999; Sato 1999; Watanabe und Oba 1999). Vor der Anwendung auf die Vergangenheit bedarf es aber zunächst genauerer Untersuchungen rezenter Tiere, um Möglichkeiten und Signifikanz der isotopischen Aussage unter vergleichsweise gut bekannten hydrographischen Gegebenheiten abzuklären. Im folgenden werden solche ersten Schritte und

Ergebnisse für die sibirischen Schelfe an Hand von zwei Muscheln aus Kara- und Laptev-See vorgestellt.

Methodik

Lebend gefangene Exemplare von *Serripes groenlandicus* (Gmelin 1790) aus der Kara-See (Station BP00-28, vom 4.9.1999, 73.4°N, 78.8°E, 23m Wassertiefe) und von *Astarte borealis* (Schumacher 1817) aus der Laptev-See (PS51/104, 5.8.1998, 76.0°N, 132.2°O, 32m) wurden detailliert beprobt. Je ca. 10 bis 30 µg Kalziumkarbonat wurden mit einer Mikrofräse in Schritten von 0.2–0.3 mm in Wachstumsrichtung sehr flach (0.1 – 0.2 mm) aus der Muscheloberfläche gefräst und nach dem Standardverfahren mit dem Kieler Karbonat-Isotopen-Analysesystem („Kiel Anlage“ zur CO₂-Präparation und MAT 251 Isotopen-Massenspektrometer) am Leibniz-Labor der Universität Kiel gemessen. Die Messfehler betragen 0.04 ‰ für δ¹³C und 0.07 ‰ für δ¹⁸O, der methodische Fehler, der vor allem durch die Art der Probenahme bedingt ist, wurde an Hand von Mehrfachproben auf 0.21 ‰ für δ¹⁸O bestimmt.

Generell gesehen führen höhere Wassertemperaturen bei der Kalkabscheidung wie auch ein höherer Flußwasseranteil, d.h. ein verringerter Salzgehalt, zu erniedrigten δ¹⁸O-Werten. Umgekehrt lassen sich aus den δ¹⁸O-Werten allein die beiden Einflußgrößen nicht getrennt bestimmen, aber durch die „Randwerte“ (Temperatur bei konst. Sal. oder Salinität bei konst. Temp.) beschreiben.

Ergebnisse

Die Sauerstoffisotopenverhältnisse (als δ¹⁸O in ‰ gegen den PDB Standard) schwanken bei *Serripes groenlandicus* aus der Kara-See mit einer mittleren Amplitude von 1.6 ‰ bei einem Mittelwert von 0.7 ‰ (Abb.1). Vergleichbar liegt die Amplitude von *Astarte borealis* aus der Laptev-See bei 1.3 ‰, der Mittelwert ist jedoch infolge des höheren Salzgehalts in der Tiefe mit 1.5 ‰ wesentlich höher als in der Kara-See. Das Periostrakum – die Haut über der Kalzitschale – von *Serripes groenlandicus* zeigt in Wachstumsrichtung eine ausgeprägte Hell/dunkel-Wechselstreifung. Den hellen Ringen sind die geringeren (=“leichtere“) δ¹⁸O-Werte zugeordnet, den dunkleren die höheren (=“schwerere“) Werte. Es darf angenommen werden, dass es sich bei dem Farbmuster um helle Sommer- und dunkle Winterlagen handelt (A. Gukov, Hydrometeorologisches Department Tiksi, Yakutien, pers. Mittlg.), wodurch die δ¹⁸O-Variationen saisonal festgelegt werden. Diese saisonale Rhythmik ist vielfach beobachtet worden (z.B. Erlenkeuser und Wefer 1981, Wefer und Berger 1991). Der beprobte Teil von *Serripes groenlandicus* würde demnach bis 1991 zurückreichen. Auf

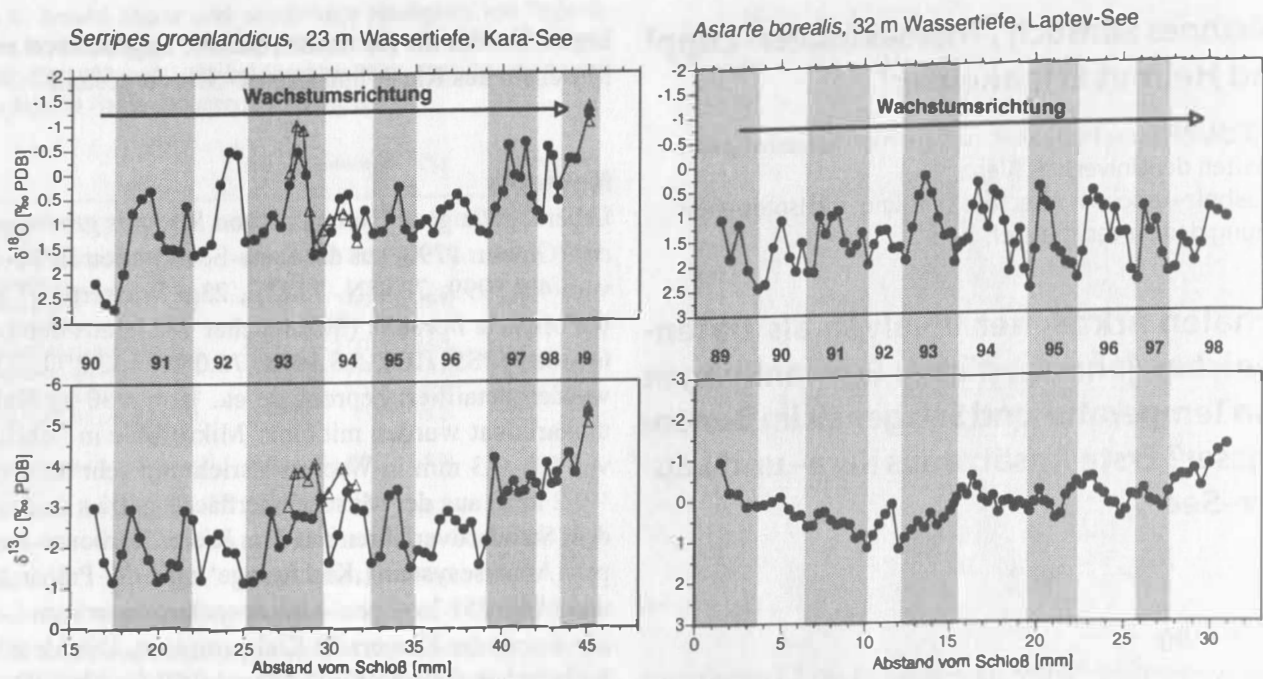


Abb. 1. $\delta^{18}\text{O}$ - (oben) und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (unten) von *Serripes groenlandicus* aus der Kara-See (links) und *Astarte borealis* aus der Laptev-See (rechts). Grau-weiße Balken markieren alternierend die Jahresfolge (s. Text). Die Y-Achsen sind umgedreht skaliert, d.h. niedrigere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (niedrigere Salinität und/oder höhere Temperatur) weisen nach oben. Helle Dreiecke markieren nachträgliche Parallelproben.

der Schalenoberfläche von *Astarte borealis* aus der Laptev-See sind allerdings keine Wachstumsringe zu erkennen. Die Jahreseinteilung in Abb. 1 beruht hier allein auf den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, wobei der jeweils schwerste Wert eines Zyklus als Winterwert angenommen wurde. Die Datenreihe reicht somit zurück bis 1989.

Das Verhältnis der stabilen Kohlenstoffisotope (als $\delta^{13}\text{C}$ in ‰ gegen PDB Standard) verhält sich im allgemeinen gleichläufig zu den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten, d.h. leichte $\delta^{13}\text{C}$ -Werte treten im Sommer und schwere im Winter auf (Abb. 1). Diese Phasengleichheit ist bei *Serripes groenlandicus* aus der Kara-See eindeutiger ausgeprägt als bei *Astarte borealis* der Laptev-See. Letztere zeigt einen deutlich U-förmigen Verlauf der $\delta^{13}\text{C}$ -Kurve, wie er typischerweise durch Stoffwechsellumstellungen während der Ontogenese entsteht (Wefer und Berger 1991). Bei *S. groenlandicus* ist hier nur der Anstieg im adulten Stadium erfasst. Die beobachteten saisonalen Rhythmen dürften u.a. auf die Rhythmik der Planktonproduktion und ihre isotopischen Folgen im Stoffhaushalt des einzelnen Tieres wie auch für den Kohlenstoffhaushalt des flachen Schelfmeeres insgesamt zurückgehen, z.T. aber auch mit saisonal wechselnden Bodenwasserkörpern und ihrer verschiedenen C-Isotopensignatur (Schelfmeerprovenienz bzw. pelagische Prägung) zusammenhängen.

Diskussion

Unter der Annahme, dass die Muscheln ihre Schalen im thermodynamischen Isotopengleichgewicht mit dem Bodenwasser entsprechend der jeweiligen Wassertemperatur kalzifizieren, lassen sich nach der „Paläotemperaturgleichung“ von O'Neil et al. (1969; nach Shackleton 1974) unter Zuhilfenahme der entsprechenden Salzgehalt- $\delta^{18}\text{O}_{\text{Wasser}}$ -Beziehungen die maximal möglichen saisonalen Temperatur- bzw. Salzgehaltsschwankungen aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden der Muscheln berechnen (Tab. 1). Umgekehrt können aus den vorhandenen T/S-Daten unterschiedlicher Jahreszeiten (Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean 1998) auch diejenigen $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden berechnet werden, die nach diesen Daten in den Muschelschalen möglich wären (Tab. 1).

Tab. 1. Berechnete Temperatur- und Salzgehaltsamplituden für die Kara- und Laptev See

| | Quelle | Jahresamplitude | | T/S-Berechnung aus $\delta^{18}\text{O}$ mit: -0.28 ‰°K ⁻¹ (O'Neil et al. 1969); 0.46 ‰psu ⁻¹ (unpubl. Daten Kara-See) |
|------------|---|-----------------|------------|--|
| | | Temperatur | Salzgehalt | |
| Kara-See | <i>Serripes groenlandicus</i> (Berechnet aus mittlerer $\delta^{18}\text{O}$ -Amplitude 1.6 ‰) | 5.7 °C | oder 3.5 | |
| | Prusakov und Shmelkov (pers. Mitteilg.) | 0.42 °C | und 0.3‰ | |
| Laptev-See | <i>Astarte borealis</i> (Berechnet aus mittlerer $\delta^{18}\text{O}$ -Amplitude 1.3 ‰) | 4.6 °C | oder 2.4 | -0.28 ‰°K ⁻¹ (O'Neil et al. 1969); 0.55 ‰psu ⁻¹ (unpubl. Daten Laptev-See) |
| | Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean (1998) | 0.47 °C | und 1.2 | |

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden von *Serripes groenlandicus* aus der Kara-See könnten demnach durch jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur (T) um $5.7\text{ }^\circ\text{C}$ oder des Salzgehalts (S) um 3.5 zustande kommen (Tab. 1). Leider sind keine hochwinterlichen T/S-Daten für die nähere Umgebung des Fangortes vorhanden. Die „winterlichsten“ Werte aus der Datenzentrale Obniensk, Russland sind von Oktober 1950 (B. Prusakov & B. Shmelkov, Geokhi, Moskau, pers. Mittlg.). Verglichen mit den August-Daten unterscheiden sie sich in der Temperatur nur um $-0.42\text{ }^\circ\text{C}$ und im Salzgehalt nur um 0.38 — viel zu wenig, um die $\delta^{18}\text{O}$ -Amplitude der Muschelschale zu erklären (Tab. 1). Ähnlich müßte in der Laptev-See die gemessene $\delta^{18}\text{O}$ -Amplitude durch saisonale Wechsel der Temperatur um $4.6\text{ }^\circ\text{C}$ oder des Salzgehaltes um 2.4 hervorgerufen worden sein. T/S-Daten für diese Station aus dem Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean (1998) genügen aber bei weitem nicht, um diese $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden zu erklären (Tab. 1).

Die Datenerhebung im Arktischen Ozean ist im Winter außerordentlich schwierig, was vermutlich der Hauptgrund für die Spärlichkeit von Messwerten aus dem Winterhalbjahr ist. Da zwischen den wenigen vorhandenen Daten üblicherweise räumlich und zeitlich interpoliert wird, können Atlanten gar nicht die volle Spannweite jahreszeitlicher T/S-Variationen enthalten. Man kann daher mutmaßen, dass $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Muschelschalen jahreszeitliche hydrographische Variationen anders als die Atlanten vergleichsweise genau und en détail widerspiegeln. Um dies zu belegen, sind jedoch ganzjährige Aufzeichnungen von Verankerungen am Meeresboden nötig. Derartige Daten wurden in der Laptev-See erhoben, liegen jedoch derzeit noch nicht vor. Sollte sich an Hand der in situ-Messwerte die Vermutung präziser T/S-Aufzeichnungen durch die Muscheln bestätigen, so hätte man eine leistungsfähige und ausgesprochen kostengünstige Möglichkeit zur Messung der jahreszeitlichen Variabilität im Bodenwasser arktischer Schelfmeere zur Verfügung. Da sich in arktischen Schelfmeeren die Temperaturen unterhalb 15m Wassertiefe saisonal nur wenig ändern, wäre mit den Schalendaten hauptsächlich die Salinität angesprochen.

Die variable Saisonalität des Schelfbodenwassers ist vermutlich das Abbild der wechselnden Einflussnahme terrestrischer und mariner Prozesse, die wiederum gesteuert werden durch rhythmische Veränderungen der Atmosphäre (Proshutinsky 1999, Thompson 2000a). Ein Vergleich der saisonalen $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden zwischen Kara- und Laptev-See zeigt gegenläufige Trends in den beiden Schelfgebieten (Abb. 2). In der Kara-See nahm die Saisonalität während der ersten Hälfte der 90er Jahre ab

und stieg danach wieder an. In der Laptev-See ist das umgekehrte Bild zu beobachten: die Amplituden sind während der Mitte der 90er Jahre größer als davor und danach (Abb. 2). Es liegt nahe, diese Phasenverschiebungen der Arktischen Oszillation (z.B. Proshutinsky 1999) zuzuschreiben. Ein Vergleich der $\delta^{18}\text{O}$ -Saisonalität mit dem Index der Arktischen Oszillation als Luftdruckanomalie auf Meeresspiegelmöhe in der Arktis (Abb. 2; Thompson 2000b) zeigt jedoch keinen unmittelbaren Zusammenhang, wenn auch Phasenbeziehungen angedeutet scheinen.

Insgesamt läßt sich, ohne jetzt schon in genauere Modellvorstellungen zu gehen, vorerst nur vermuten, dass die Arktische Oszillation nur indirekt als einer unter vielen Faktoren die Saisonalität auf den sibirischen Schelfen beeinflusst.

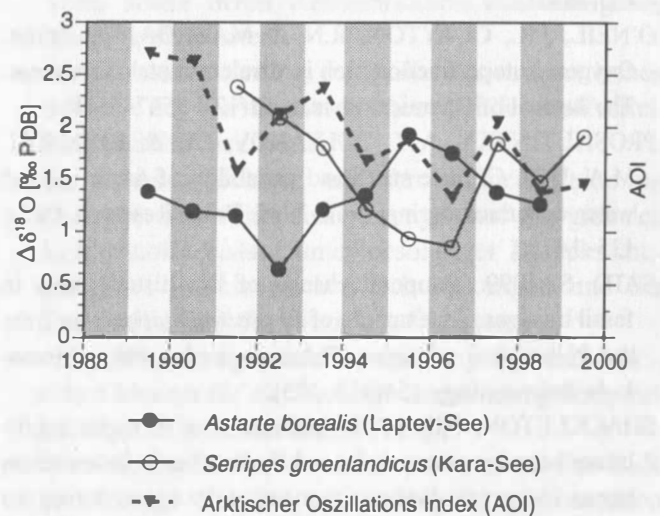


Abb. 2. Saisonale $\delta^{18}\text{O}$ -Amplituden als Differenz zwischen höchstem und tiefstem Werte eines Jahreszyklus. Zum Vergleich ist der Arktische Oszillationsindex gezeigt (Thompson 2000b).

Vermutlich spielen klimatische Vorgänge in den mittleren Breiten, den Einzugsgebieten der großen Flüsse Yenisei und Lena, eine wesentlich größere Rolle.

Schlussfolgerung

Die ersten Isotopen-Ergebnisse an Muschelschalen aus Kara- und Laptev-See zeigen das Potenzial dieser Methode. Muscheln der arktischen Schelfmeere scheinen sich als „Rekorder“ zu erweisen, die jahreszeitliche T/S-Schwankungen im Bodenwasser möglicherweise genauer aufzeichnen als derzeit vorhandene Atlasdaten. Sie bieten damit eine Möglichkeit, den klimageschichtlich wichtigen Aspekt der Saisonalität in den arktischen Schelfmeeren auch für die Vergangenheit zu untersuchen.

Literatur

- ERLENKEUSER, H., G. WEFER, 1981: Seasonal growth of bivalves from Bermuda recorded in their O-18 profiles. Proc. Intern. Reef Symposium, Manila, 2, p.643–648.
- HICKSON, J.A., JOHNSON, A.L.A., HEATON, T.H.E. & BALSON, P.S. 1999. The shell of the queen scallop *Aequipecten opercularis* (L.) as a promising tool for paleoenvironmental reconstruction: Evidence and reasons for equilibrium stable isotope incorporation. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 154(4): 325–337.
- INGRAM, B.L., INGLE, J.C. & CONRAD, M.E. 1996. Stable isotope record of late Holocene salinity and river discharge in San Francisco Bay, California. Earth and Planetary Science Letters 141: 237–247.
- Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean. 1998. Oceanography Atlas for the Winter and Summer Period (GDEM). CD-ROM
- O'NEIL, J.R., CLAYTON, R.N. & MAYEDA, T.K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. The Journal of Chemical Physics 51(12): 5547–5558.
- PROSHUTINSKY, A.Y., POLYAKOV, I.V. & JOHNSON, M.A. 1999. Climate states and variability of Arctic ice and water dynamics during 1946–1997. Polar Research 18(2): 135–142.
- SATO, S. 1999. Temporal change of life-history traits in fossil bivalves: An example of *Phacosoma japonicum* from the Pleistocene of Japan. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 154(313–323).
- SHACKLETON, N.J. 1974. Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera genus *Uvigerina*: Isotopic changes in the ocean during the last glacial. Colloques Internationaux du C.N.R.S. 219: 203–209.
- SIMSTICH, J. 1999. Die ozeanische Deckschicht des Europäischen Nordmeers im Abbild stabiler Isotope von Kalkgehäusen unterschiedlicher Planktonforaminiferenarten. Berichte – Reports, Institut für Geowissenschaften 2: 96.
- THOMPSON D. 2000a. Schematic of the high and low index polarities of the NH annular mode.
<http://tao.atmos.washington.edu/data/annularmodes/Figures/schematic.html>
- THOMPSON, D. 2000b. Updated time series of the northern hemisphere annular mode, Jan–Mar 1959–2000.
http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/ao/Figures/index.html.
- WATANABE, T., OBA, T. 1999. Daily reconstruction of water temperature from oxygen isotopic ratios of a modern *Tridacna* shell using a freezing microtome sampling technique. Journal of Geophysical Research 104(C9): 20667–20674.
- WEFER, G., BERGER, W.H. 1991. Isotope paleontology: growth and composition of extant calceous species. Marine Geology 100: 207–24. *